

# 重庆西山坪西园建材厂滑坡应急抢险治理工程设计与研究

魏作安<sup>1,2</sup>, 万玲<sup>2,3</sup>, 贺建波<sup>3</sup>, 张东明<sup>2,3</sup>

(1. 中国科学院力学研究所, 北京 100080; 2. 重庆大学西南资源开发及环境灾害控制工程教育部重点实验室, 重庆 400044; 3. 重庆大学资源及环境科学学院, 重庆 400044)

**摘要:** 以西山坪西园建材厂滑坡体工程地质勘察资料为依据, 分析了滑坡体的岩土组成和物理力学性质以及造成滑坡的原因。认为影响山体滑坡的因素除与边坡地层岩性、微地貌特征、气象及水文条件有关外, 修建厂房开挖与切割边坡脚则是重要的诱发原因。定性得出该滑坡的形成机制和类型为牵引式、浅层、小型土质新型滑坡。在此基础上, 应用规范所推荐的极限平衡法, 对该滑坡体的 3 个主要地质剖面 (A-A'、B-B'、C-C') 进行了稳定性计算与分析, 得到不同工况下滑坡体稳定系数值。其中, 在最不利组合工况 (自重+暴雨+地震) 下, 滑坡体稳定系数仅为 0.99~1.03, 处于不稳定状态。根据计算结果, 按照《长江三峡库区滑坡灾害防治规范》要求及“技术可行、安全可靠、经济合理、简单易实施”的设计原则, 对该滑坡的应急抢险方案进行了设计, 提出以抗滑桩拦挡工程为主、坡顶修筑截排水沟、地表裂缝回填夯实等综合治理方案。抗滑桩设置 1 排, 分 3 段, 根据每段不同的剩余下滑力设计抗滑桩的断面尺寸和埋设深度, 使该滑坡体治理后, 其安全系数分别满足不同工况下的规范要求。该方案已通过了三峡库区滑坡灾害防治专家组的审核, 目前, 正处于实施阶段。

**关键词:** 西园建材厂滑坡; 治理; 工程设计与研究; 应急抢险方案

文章编号: 1003-8035 (2004) 03-0015-04

中图分类号: P642.22

文献标识码: A

## 1 滑坡概况

西山坪西园建材厂滑坡位于重庆市北碚区龙凤桥镇联龙村回头湾, 距北碚主城区 1.5 km。滑坡区处于低山山麓与红层浅丘接合部, 原始地貌为丘间槽谷。场地南、北两侧为马鞍型丘包, 场地总体呈东南高、西北低的斜坡地形, 坡度角 5~15°, 局部呈陡坎。滑坡总体呈半圆形, 滑坡纵向长平均约为 50.00 m, 横向宽平均约为 65.00 m, 滑体平均厚 4.50 m, 面积 3 250 m<sup>2</sup>, 体积 1.46 × 10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>, 为浅层小型土质新型滑坡。如图 1, 滑坡体的裂缝是在新建厂房时, 开挖平整场地后发现的。开始裂缝变化很快, 同时, 在中部出现一些羽状裂缝, 随着旱季的到来, 滑坡变形减弱, 但遇到下雨时就会加剧, 给新建厂房和坡底的居民生命财产带来潜在的危害, 一旦产生灾害, 则后果不堪设想。为此, 重庆市将该滑坡纳入三峡库区地质灾害治理范畴, 进行治理。

## 2 工程地质条件

滑坡区斜坡骨架由侏罗系中统新田沟 (J<sub>2x</sub>) 和中下统自流井组 (J<sub>1-2z</sub>) 岩层组成, 斜坡表面大部

为第四系滑坡堆积物、人工填土、崩坡积物、残坡积物等覆盖。各地层特征分述如下:

### 2.1 人工填土层 (Q<sub>4</sub><sup>m</sup>)

以素填土为主, 成份为紫红色泥岩与砂岩碎块石, 夹少量建筑垃圾、生活垃圾, 干燥-稍湿, 松散-稍密, 一般厚 2~3 m。堆填时间 1~5 a。

### 2.2 滑坡堆积层 (Q<sub>4</sub><sup>del</sup>)

该层广泛分布于滑坡区, 物质成份为紫红色、暗紫红色粉质粘土夹砂、泥岩块石。粉质粘土可塑-硬塑, 透水性较差。厚度 0~6.0 m。

### 2.3 崩坡积层 (Q<sub>4</sub><sup>col+dl</sup>)

广泛分布于丘间槽谷内, 成份为粉质粘土, 暗紫红、土黄、黄绿等杂色。可塑-硬塑, 含砂岩块石和泥、页岩碎石。埋深 0.0~10.8 m, 厚度最大达 20.3 m。

收稿日期: 2003-03-31; 修回日期: 2003-12-05

基金项目: 中国科学院知识创新资助项目 (KXCX2-SW-L1)

作者简介: 魏作安 (1965—), 男, 高级工程师, 博士后, 主要从事岩土工程、滑坡灾害防治等方面的设计与研究。

2.4 残坡积层 (Q<sub>4</sub><sup>el+dl</sup>)

分布于丘顶中上部及崩坡积底部,成份为粉质粘土,紫红色、暗红色,可塑-硬塑,含砂泥岩碎块石,厚度0~2.8m。

2.5 侏罗系中统新田沟组 (J<sub>2x</sub>)

为内陆河湖相碎屑岩类,岩性为泥页岩夹砂岩。厚度0.5~2.0m。

2.6 中下统自流井组 (J<sub>1-2z</sub>)

岩性为泥灰岩、泥岩、灰岩及砂岩。

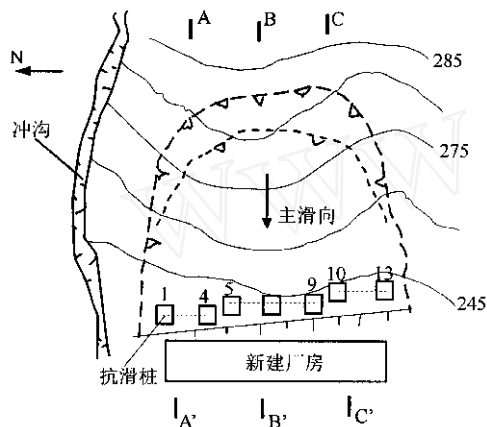


图1 滑坡体平面位置及治理工程平面布置图

Fig. 1 Map of landslide site and control project setting

3 滑坡带特征及成因分析

3.1 滑带面呈折线形,距滑带1~1.5m范围内地下水出水量大,涌水量达250~270L/h,滑带以下水量渐少,地表水沿滑坡裂缝补给滑体,滑带下土体几乎不含地下水。

3.2 滑带土物理力学性质。滑带土的天然重度19.97 kN/m<sup>3</sup>,干重度16.42kN/m<sup>3</sup>,天然含水量21.0%~22.5%,孔隙比0.621~0.668,饱和度91.5%~93.8%,液性指数0.28~0.34,塑性指数13.8~15.2,天然状态峰值抗剪强度标准值为C=0.025 MPa、φ=10.38°,天然状态残余抗剪强度标准值C=0.017 MPa、φ=8.40°;饱水状态峰值抗剪强度标准值C=0.015 MPa、φ=6.96°,饱水状态残余抗剪强度标准值C=0.011 MPa、φ=4.98°。

3.3 滑坡成因分析。滑坡的形成机制为牵引式,影响因素有:地层岩性、微地貌特征、气象与水文条件以及人类工程活动等,其中修建厂房开挖、切坡脚是重要的诱发原因。

4 滑坡体稳定性计算与评价

4.1 计算剖面和方法

选用A—A、B—B、C—C 3条纵剖面,剖面方向大致与主滑方向一致。根据滑面呈起伏不平的折线型,对滑坡体稳定性计算采用极限平衡法中常用的传递系数法来评价滑坡的稳定性及计算滑坡推力。

4.2 计算参数

滑体土重度采用试验成果平均值,滑坡天然重度r=19.97 kN/m<sup>3</sup>,饱水状态下取20.71 kN/m<sup>3</sup>。滑动面抗剪强度参数的选取合理与否,对滑坡体稳定性计算起关键性作用。此次计算采用室内试验值(残余强度值)、反演值及工程类比等方法综合确定可能滑动面抗剪强度参数。滑带土室内试验抗剪强度参数标准值见表1。

表1 滑带土抗剪强度参数室内试验值

Tab. 1 Laboratory test result of shear strength parameters for soil in sheat zone

天然状态		饱水状态	
峰值	残值	峰值	残值
C(kPa)	(°)	C(kPa)	(°)
25	10.38	15	6.96
17	8.40	11	4.98

反算取值,取B—B剖面滑带土饱水状态下内摩擦角的峰值与残余值的平均值=6.40°,选择主滑线上B—B和C—C两条剖面,综合反算求得滑带土粘聚力C=11.30 kPa。

反算值与室内实验统计值相比,两者比较吻合。综合确定滑坡体滑带土抗剪强度计算参数见表2。

表2 滑坡稳定性计算滑动带土抗剪强度参数

Tab. 2 Shear strength parameters of soil in shear zone for stability calculation

天然状态		饱水状态	
C(kPa)	(°)	C(kPa)	(°)
17.20	9.10	11.30	6.40

4.3 计算荷载和工况

计算荷载有:(a)自重;(b)地下水作用力,勘查工作表明,降雨入渗能在滑坡体内形成渗流场。因此计算时,除了要考虑孔隙水压力对潜在滑面产生的浮托力,还应考虑暴雨对滑坡体稳定性产生的影响;(c)地震力,对地震区,仅考虑水平地震加速度(F<sub>1</sub>=K<sub>c</sub>W<sub>i</sub>),水平地震系数K<sub>c</sub>取0.05。

工况组合:拟采用3种工况对滑坡体稳定性进行

计算。工况1—自重;工况2—自重+暴雨(久雨);工况3—自重+暴雨(久雨)+地震(校核工况)。

#### 4.4 计算结果与评价

将上述方法采集到的稳定性计算数据输入通用程序中,计算出滑坡的稳定性系数见表3。

由计算结果可知滑坡在天然状态下,滑坡稳定性系数1.10~1.14,处于基本稳定状态;在雨季时,其稳定性为1.01~1.04,处于欠稳定状态;在最不利组合下稳定性系数0.99~1.03,处于不稳定状态。

表3 滑坡稳定性系数计算结果表

Tab.3 The calculated result of landslide stability coefficient analysis

剖面编号	工况	稳定性系数
A—A	工况1	1.14
	工况2	1.04
	工况3	1.03
B—B	工况1	1.10
	工况2	1.01
	工况3	0.99
C—C	工况1	1.12
	工况2	1.02
	工况3	1.00

## 5 西山坪西园建材厂滑坡应急抢险治理工程设计

经综合分析,按照“技术可行、安全可靠、经济合理、简单易实施”的设计原则,确定该滑坡应急抢险治理工程方案为:抗滑桩拦挡、浆砌块石护岸、地表面裂缝回填夯实及坡顶修筑截水沟的综合治理方案。

表6 抗滑桩的内力计算结果

Tab.6 The calculated result about inner force of resistance piles

桩长(m)	1~4号桩及10~13号桩			5~9号桩			备注
	桩侧应力 $\gamma$ (kPa)	剪切力 $Q_y$ (kN)	弯矩 $M_y$ (kN·m)	桩侧应力 $\gamma$ (kPa)	剪切力 $Q_y$ (kN)	弯矩 $M_y$ (kN·m)	
0	0	0	0	0.0	0.0	0.0	桩顶处
1.0	240	240	120	296.0	296.0	148.0	
2.0	240	480	480	296.0	592.0	592.0	
3.0	240	720	1 080	296.0	888.0	1 332.0	
4.0	240	960	1 920	296.0	1 184.0	2 368.0	
5.0	240	1 200	3 000	296.0	1 480.0	3 700.0	滑面处
5.8	- 178.4	1 055.3	3 805.38	- 184.0	1 308.69	4 837.12	
6.6	- 299.2	680.22	4 423.68	- 310.0	865.0	5 721.01	
8.2	- 368.7	- 407.3	4 640.00	- 382.08	- 426.24	6 105.88	
9.8	- 208.4	- 1 355.02	3 348.50	- 219.47	- 1 556.10	4 442.37	
11.4	181.0	- 1 415.08	1 241.30	181.64	- 1 692.3	1 654.05	
13.0	0.0	0.0	0.0	820.0	0.0	0.0	
最大值	380.72	1 421.30	4 690.56	384.33	1 760.0	6 642.0	

#### 5.2 沿着东边小冲沟靠西园建材厂一侧修筑浆砌块

按表4的工程设计工况和安全系数,对滑坡体的下滑力进行计算,结果见表5。

表4 滑坡应急抢险治理工程设计工况和安全系数

Tab.4 The safety coefficient and working condition about landslide rush control design

序号	项目	工况	安全系数
1	设计	工况1	1.5
2	校核	工况3	1.15

表5 滑坡体不同设计工况和安全系数条件下的剩余滑力

Tab.5 The surplus force of landslide under different condition

工况	安全系数	剩余下滑力(kN/m)		
		B—B剖面	A—A剖面	C—C剖面
1	1.5	369.29	151.02	295.87
3	1.15	228.80	60.21	191.50

5.1 抗滑桩拦挡工程,即在抗滑段设置一排抗滑桩,共计13根。分成3段,即1~4号、5~9号、10~13号桩,桩的断面为矩形,桩的尺寸具体为:1~4号桩和10~13号桩为12.0 m × 1.8 m × 1.2 m(长 × 宽 × 高),5~9号桩为13.0 m × 2.0 m × 1.5 m(长 × 宽 × 高),桩的间距为4.0 m。

抗滑桩的有关计算结果见表6。由于桩前的土体很薄,而且有可能挖除,同时计算出 $h < 2.5$ ,所以桩按悬臂式刚性桩计算,根据滑床土体的性状,取地基系数的比例系数 $m = 10000 \text{ kN/m}^4$ 。抗滑桩的结构设计参数见表7,其中,抗弯矩的安全系数为1.2,抗剪切系数为1.3。

石护岸挡墙,挡墙高1.5 m,底宽1.5 m,顶宽0.6 m,加

固长度为 150 m。

5.4 在坡顶处布置一截水沟,沟长约 200 m。

5.3 将边坡上的裂缝用优质粘土回填夯实。

表 7 抗滑桩的设计参数

Tab.7 The design parameters for resistance pile

桩号	设计抗滑力 (kN/m)	最大弯矩 (kN·m)	最大剪力 (kN)	钢筋规格			配筋率 (%)	配箍率 (%)
				纵向受力	箍筋	构造筋		
1~4 和 10~13	300	4 691.0	1 421.0	12 根 级 36	φ10	φ16	0.426	0.065
5~9	300	6 642.0	1 760.0	13 根 级 36	φ10	φ16	0.79	0.052

## 6 结语

该滑坡治理已纳入了三峡库区地质灾害治理工程的范畴,于 2002 年 12 月完成初设,并通过了由重庆市计委组织的专家评审。目前,正在组织该项目的实施工作。

### 参考文献:

- [1] 殷跃平. 长江三峡工程库区滑坡防治工程设计与施工技术规程[M]. 北京:地质出版社,2001.
- [2] 重庆市国土资源和房屋管理局. 重庆市三峡库区滑坡及危岩防治工程设计规定(试行)[S]. 重庆:重庆市国土资源和房屋管理局,2002.

## The control project research and design about the landslide of Xiyuan Building Materials Factory at Xishanping, Chongqing

WEI Zuo-an<sup>1,2</sup>, WAN Ling<sup>2,3</sup>, HE Jian-bo<sup>3</sup>, ZHANG Dong-ming<sup>2,3</sup>

(1. Institute of Mechanics, Chinese Academy of Science, Beijing 100080, China; 2. The Key laboratory of the Exploitation of Southwest Resources & the Environmental Hazards Control Engineering, Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400044, China; 3. College of Resource and Environmental Sciences, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

**Abstract:** Based on the geo-technical data of landslide in Xiyuan Building Material Factory at Xishanping, the composition of rock and soil bed of the landslide is gotten, the physical and mechanical characteristics about rock and soil, such as density, shear strength etc. are tested, the reason which caused the landslide is found. Besides the property of rock and soil bed, hydrogeological condition, cutting the slope toe and unearthing for building are the main reason to make the slope slide. The mechanism and the type about the landslide are also obtained, and qualitatively called it a new small shallow drawing soil landslide. Through using the limit-equilibrium method which is recommended in the code of controlling landslide, the stability analysis of the landslide is overall done, the stability coefficients for three geologic sections (A - A', B - B', C - C') of the landslide are calculated. The stability coefficient is only 0.99 ~ 1.03 in the condition of self-weight and torrential rain and earthquake that is the most disadvantageous condition, the slope is in unstable condition and the situation is very dangerous. According to the result of the slope stability calculation, the code for controlling landslide in the area of the Three Gorges on the Yangtze River, and the design principle which includes that the technique is possible, reliable and safe, the project cost is reasonable, the project is simple and easy to construct, an emergency and rush dealing control project to the landslide is designed, which is a synthetic project including resistance piles. The resistance piles are main measure, drainage of rain water from the top of slope and filling up and pressing the rifts with soil on the slope face are also taken. The resistance piles are set in a line and according to different condition they are divided into three sections. There are thirteen piles, the dimensions of pile are determined according to the quantity of surplus slide force. There are two types which are 12.0 m × 1.80 m × 1.20 m (length × width × height) from No. 1 to No. 4 and No. 10 to No. 13, and 13.0 m × 2.00 m × 1.50 m (length × width × height) from No. 5 to No. 9. After the controlling project is finished, the safety coefficient of the slope would get to the safety standard under different condition, the landslide disaster would be eliminated. The project has been checked and passed by experts from controlling landslide disasters in the area of the Three Gorges on the Yangtze River. Up to date the project is in the phase of prepared construction.

**Key words:** Xiyuan Building Materials Factory landslide; control; project design; emergency and rush dealing scheme